Восстановление углерода в почве:

Поможет ли нам в этом биология?



Джек Киттредж
Директор по политике, NOFA/Mass
www.nofamass.org
Северо-западная ассоциация органического земледелия / Массачусетское отделение.

14 Августа 2015 года

VISIT…

LANZAROTE Caliente.COM

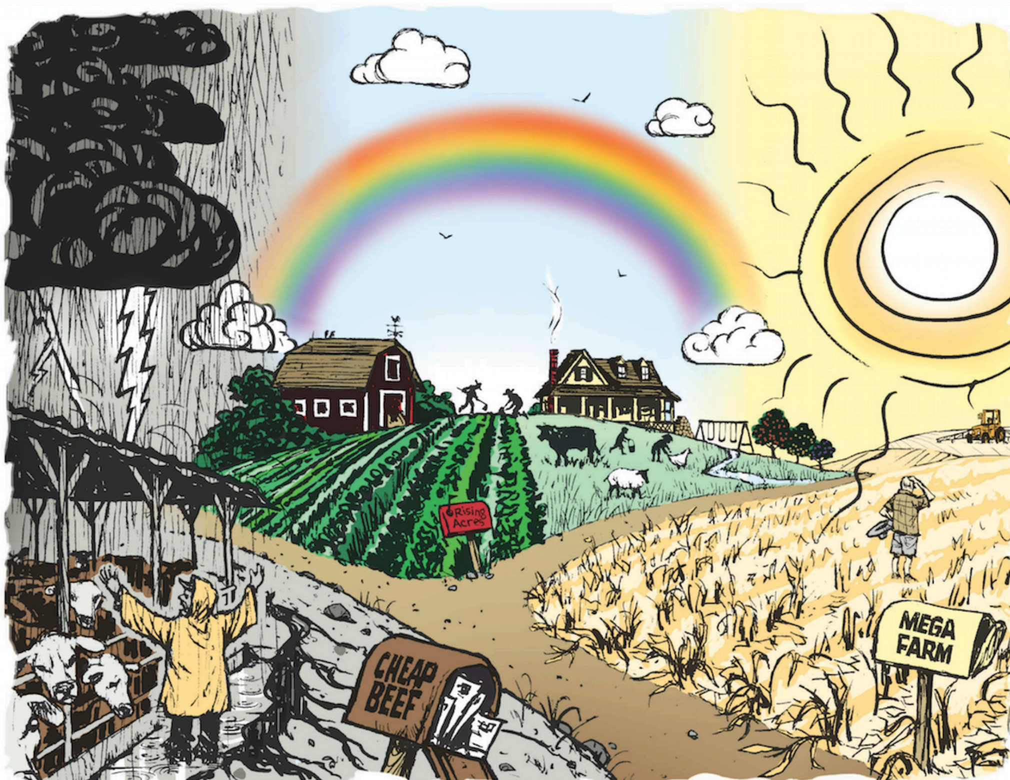






Перевод предоставлен Международной организацией «Обновление» (Regeneration International)
Охладить мир. Накормить планету.
Для дополнительной информации посетите:
www.regenerationinternational.org/international-translations/





Введение

В последнее время в научных и политических кругах широко обсуждается проблема выброса парниковых газов и возникающих в результате экстремальных погодных условий,. Большинство аналитиков считает, что если мы хотим сократить число погодных кризисов и вызванных ими трагедий, снизить риск экономической дестабилизации и социальных конфликтов, к которым ведет изменение климата, то мы должны перестать сжигать ископаемые виды топлива, чтобы предотвратить увеличение концентрации углерода в атмосфере и очистить воздух от уже накопленного углерода,.

Но куда же деть весь объем углерода, полученный в результате очистки воздуха? Есть лишь один практичный подход: вернуть его туда, откуда он был взят, а именно – в почву. К счастью, это не дорогостоящий процесс. Но он предполагает согласие и участие со стороны большого числа людей. Поскольку немногие готовы к изменениям в образе жизни без веских оснований, именно поэтому мы подготовили эту небольшую статью. Мы надеемся, что она объяснит проблемы накопления диоксида углерода и изменения климата, расскажет о различных способах извлечения углерода из атмосферы и его аккумуляции в почве, а также о выгодах для фермеров и потребителей, которые сможет привнести земледелие на богатых углеродом почвах .

Изменение климата

Общеизвестно, что погодные аномалии тяжело зафиксировать документально. Для этого требуются надежный сбор данных на протяжении длительного времени и четкие стандарты, которые

определяют само понятие аномалии. Однако, в последнее время, по мере того как все больше и больше людей интересуются вопросами изменения климата, сбор данных и разработка стандартов движется вперёд. Ключевыми показателями для определения экстремальных погодных условий являются избыточная температура, осадки и влажность воздуха. Недавние исследования показали, что за последние 50-150 лет значения среднемесячной температуры, средней влажности воздуха, а также объем экстремального количества выпадения осадков выросли (Coumou).

Большинство ученых полагают, что причиной столь непредсказуемых катаклизмов является антропогенное (вызванное человеческой деятельностью) накопление парниковых газов в атмосфере. Тщательно смоделированные эксперименты и анализ экстремальных погодных условий показали, что вызванное человеческой деятельностью изменение климата действительно является весомым фактором многих погодных катаклизмов (Peterson). Согласно Американской ассоциации содействия развитию науки (AAAS), «почти 97% ученых-климатологов, основываясь на надежных данных, пришли к выводу о том, что наблюдаемые в наше время климатические изменения являются результатом деятельности человека».

Как парниковые газы вызывают изменения климата

Парниковые газы, преимущественно диоксид углерода, а также метан, озон и оксид азота, на протяжении миллионов лет выделялись из почвы и воды в атмосферу благодаря естественным процессам, таким как дыхание животных, дегазация болот и жизнедеятельность азотфиксирующих бактерий. Эти же газы расщеплялись в ходе других природных процессов и возвращались на исходные позиции, образуя замкнутый цикл. До тех пор пока объемы выделения парниковых газов и их потребления в биосфере остаются сбалансированными, изменения климата нам не грозят.

Определенный уровень парниковых газов в атмосфере нам даже необходим. Они поглощают солнечное излучение так, что Земля отражает его меньшую часть обратно в космос. За счет этого растет количество тепла, запускающего планетарные процессы, которые формируют погоду. Если бы не было парниковых газов, Земля была бы покрыта льдом круглый год и являлась бы слишком холодной для выживания человека. Концентрация газа в атмосфере измеряется в единицах, называемых «миллионные доли» (мд). Азот, кислород и аргон - основные газы нашей атмосферы - вместе насчитывают 999,000 миллионных долей. За всю историю существования человека доля диоксида углерода (он же - углекислый газ) в атмосфере составляла примерно 280 мд или менее 0,03%.

Нарушение углеродного цикла в результате деятельности человека

С момента возникновения земледелия - примерно 12 000 лет назад - человек начал вырубать леса, расчищать земли и обрабатывать почву. Все это вело к выбросу избытков диоксида углерода в атмосферу. С помощью анализа и техник изучения глубинного льда, ученые обнаружили первые скачки концентрации диоксида углерода и метана в атмосфере, которые соответствуют началу развития земледелия в Месопотамии и Китае несколько тысяч лет назад (Amundson).

Относительно недавно, начиная примерно с 1750 года, по мере все более активного использования ископаемых видов топлива и индустриализации сельского хозяйства, масштаб и количество связанных с человеческой деятельностью источников выброса парниковых газов резко увеличивается. В результате увеличения объема парниковых газов, поступающих в атмосферу, и замедления темпов возвращения их в почву доля диоксида углерода в атмосфере постоянно растет и достигает в наши дни 400 мд.

Масштаб проблемы

(для тех, кто любит цифры!)

Примечание: вычисления в этом разделе сделаны с применением метрической системы, согласно которой тонна - это метрическая тонна, которая весит 1000 килограмм или 2204.6 фунтов. Гигатонна составляет миллиард метрических тонн. Гектар составляет 10,000 квадратных метров или 2,47 акра.

Ученые подсчитали: для того чтобы избежать катастрофических изменений климата, нам необходимо снизить концентрацию диоксида углерода в атмосфере до уровня в 350 мд. (NASA) (Многие исследователи не согласны и считают, что более безопасной была бы близкая к доиндустриальному показателю отметка в 275-280 мд, но в ходе общественных дебатов было принято решение остановиться на отметке 350 мд). Одна миллионная доля диоксида углерода в атмосфере составляет примерно 7.8 Гигатонн. Молекула диоксида углерода состоит преимущественно из кислорода, углерода - чуть больше четверти (27,3%, если быть точным). Таким образом, одна миллионная доля диоксида углерода в атмосфере содержит 2.125 Гт углерода (для наглядности это сопоставимо с весом куска твердого графита размером в кубический километр).

Итак, нам следует жить с долей концентрации диоксида углерода равной 350 мд и ниже, но она уже составляет 400 мд и продолжает расти. Что же делать?

Может снизить выбросы в атмосферу?

Безусловно, человечество должно прекратить избыточный выброс парниковых газов в атмосферу. Установлено, что две трети этих выбросов происходят в процессе сжигания ископаемых видов топлива (Ontl). Необходимо бороться с нашей зависимостью от ископаемых видов топлива и разрабатывать альтернативные источники энергии. Правительствам разных стран это хорошо известно. Для решения этой задачи были созданы международные группы. Возможно, это станет одной из самых сложных перемен в истории человечества, но если мы хотим выжить, нам нужно найти способы и разработать механизмы достижения этой цели. Но это не единственная проблема!

Давайте представим, что завтра мы остановим все выбросы в атмосферу. Но парниковые газы, которые уже выпущены в атмосферу, будут нагревать планету в течение десятилетий, а возможно, и веков. Это тепло растопит лед и ледяные почвы и приведет к повышению уровня моря и выпуску в атмосферу больших объемов замороженных до сих пор парниковых газов..

Это потенциальная проблема Арктики, например. Там в замороженном состоянии находится большое количество метана, который по мере таяния льда тоже становится парниковым газом и переходит в атмосферу. Также огромное количество углерода таится в вечной мерзлоте. При потеплении окружающей среды его будут перерабатывать микробы, и он начнет выделяться в атмосферу как диоксид углерода. В бескислородной среде – в болоте или на переувлажненных землях – другие микробы способны выделить этот углерод в виде метана (Национальный центр данных исследования снега и льда (NSIDS)).

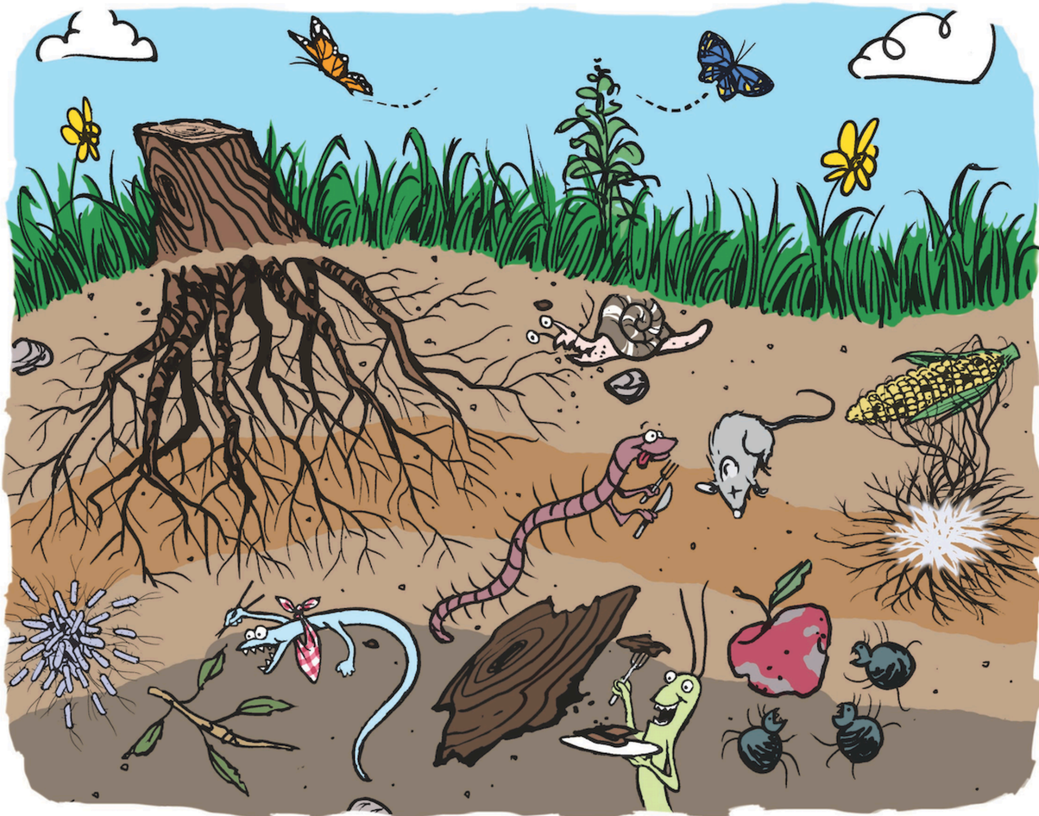
Поэтому просто снижения выбросов недостаточно. После того как мы это сделаем, нужно будет еще остановить глобальное потепление. Если сейчас мы находимся на отметке примерно 400 мд и хотим вернуться к уровню в 350 мд, нам необходимо извлечь углерод из атмосферы и где-то его захоронить. Необходимо найти долгосрочное место хранения для 50 мд углекислого газа, что составляет 106,25 Гт чистого углерода. Возможно ли это?

Куда же нам деть весь этот углерод?

70% поверхности планеты покрыты водой и непригодны для безопасного хранения атмосферного углерода. Диоксид углерода растворяется в воде и образует угольную кислоту. Вот уже несколько десятилетий мы наблюдаем эффект постепенного увеличения концентрации углекислоты в наших океанах. Водородный показатель (pH) океана снижается, а повышение кислотности губит многие формы морской жизни, включая моллюсков, кораллы и планктон (Национальное управление океанических и атмосферных исследований - NOAA).

Углерод, который хранится в почве - совершенно другая история. Именно из почвы углерод поступает в биосферу, и именно почве он необходим. По оценкам ученых, мировой почвенный покров потерял 136 Гт углерода с момента начала индустриальной революции, расчистки земель и их культивации (Lal 2004). То есть из-за нашей сельскохозяйственной активности почва потеряла больше углерода, чем нам необходимо вернуть обратно сейчас. Сколько еще углерода содержится в почве? Значительно больше. Ученые считают, что в верхнем слое почвы толщиной тридцать сантиметров (примерно один фут) содержится примерно 700 Гт углерода. Если взять верхний почвенный метр полностью (а это больше трех футов), то содержание углерода в нем будет вдвое больше - примерно 1500 Гт (Powlson). Очевидно, что почва, в которой мог храниться весь этот углерод, в состоянии принять его назад.

Но прежде чем мы попытаемся ответить на вопрос, как упрятать 106,25 Гт углерода обратно в почву, давайте лучше разберемся в природе самой почвы.



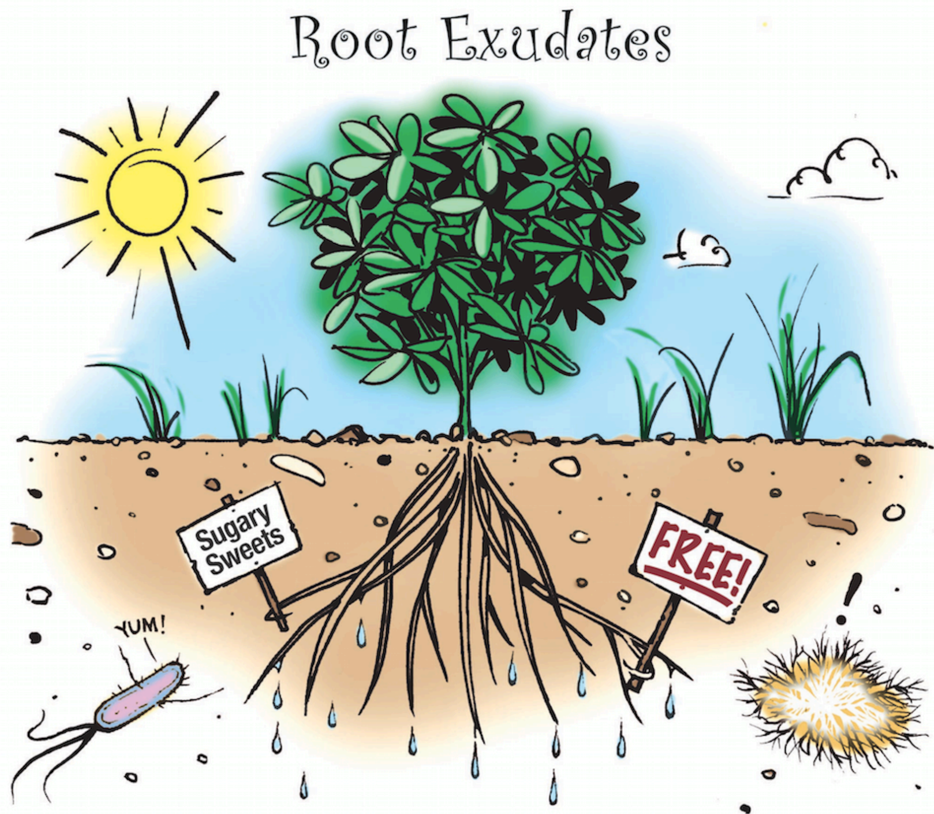
Углеродный голод почвы.

Почва - это буквально живой организм. Она полна бактерий, грибов, водорослей, простейших,

нематод и других самых разных существ. В чайной ложке здоровой почвы микробов больше, чем людей на земле (Hoorman). Само собой, как и все углеродные формы жизни, это разнообразнейшее сообщество нуждается в постоянных поставках органического вещества, чтобы выжить. Это органическое вещество (примерно 58% которого составляет углерод) представлено самими живыми организмами, их экскрементами и выделениями, которые часто являются простыми сахарами, их останками, часто состоящими из углеводов типа целлюлозы. Эти соединения богаты энергией, легкодоступны для потребления различными организмами и быстро ассимилируются микробами почвы. Например, период полураспада простых сахаров в верхних слоях почвы до момента их поглощения может составлять меньше часа (Dungait).

Ненасытный аппетит почвенных организмов к углероду означает, что в здоровой почве они быстро поглощают все доступное органическое вещество. Оно либо идет напрямую в их тела, либо перерабатывается в энергию, выделяя при этом углекислый газ. Микробы, обитающие на акре кукурузы в штате Айова, выделяют больше диоксида углерода, чем 25 здоровых мужчин за работой (Albrecht). Как только эти микробы умирают, углерод из их тел становится доступным для других организмов, которые запускают процессы органического разложения и высвобождения углерода в атмосферу.

Активность почвенных организмов подчинена как сезонным, так и дневным циклам. Не все организмы активны в одно и то же время. В любой момент времени их большая часть едва активна или находится в состоянии покоя. Важным фактором, который влияет на популяцию и уровень активности почвенных организмов, является доступ к питанию (Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (FAO)).



Фотосинтез

Но если углерод так быстро поглощается почвой, почему он тут же не исчезает?

Потому что растения постоянно обновляют его запас. На протяжении 3,5 миллиардов лет с момента их эволюции, растения успешно существовали, используя свою выдающуюся способность поглощать углерод из воздуха и трансформировать его в живую материю. Этот процесс, разумеется, называется фотосинтезом, его изучение входит в школьную программу.

Вот как это работает: молекулы хлорофилла в листьях растений позволяют им поглощать энергию света и использовать ее для расщепления молекул воды (H_2O) на атомы водорода и кислорода. Затем растение выделяет атомы кислорода в виде молекулярного кислорода (два атома кислорода составляют молекулу кислорода - O_2) обратно в атмосферу и временно удерживает атомы водорода. На второй стадии фотосинтеза атомы водорода соединяются с молекулами диоксида углерода (CO_2), образуя простые углеводы, такие как глюкоза ($C_6H_{12}O_6$).

Этот процесс, как и все химические реакции, зависит только от доступности реагентов. Поскольку диоксид углерода присутствует в атмосфере в крайне низкой концентрации (сейчас 0,04%), он является ограничивающим фактором процесса (Королевское Химическое Общество - RSC). При более высоких концентрациях этого газа из солнечного света будет получено больше энергии, и растению потребуется больше воды для увеличения производства углеводов (Ontl). В других условиях, например, ночью или в засуху, вода или свет могут являться ограничивающими факторами..

Масштаб процесса поистине впечатляет. Один акр пшеницы может переработать 8900 фунтов (4036 кг) углерода за год в форме его диоксида, соединив его с водой и превратив в глюкозу. В результате будет получено 22,000 фунтов (почти 10 000 кг) глюкозы..Процесс идет настолько активно, что ежегодно через фотосинтезирующие организмы проходит примерно 15% всего диоксида углерода мировой атмосферы (Наука и растения для школ - SAPS).

Корневые выделения

Благодаря фотосинтезу растения и другие фотосинтезирующие организмы (например, сине-зеленые водоросли) наделены особой ролью в жизни. Все живые существа являются углеродными формами жизни, и для выживания им необходим углерод. Если ты можешь извлечь углерод из воздуха, как это делают растения, у тебя есть принципиальное преимущество. Но если ты не можешь создавать углеродные соединения, тебе нужно их откуда-то получать.

Как еще почвенные микробы могут получать углерод? Они могут его «заработать»!

Одной из наиболее удивительных вещей, которую ученые узнали о растениях и почвенных организмах, является их способность выстраивать взаимовыгодные (симбиотические) отношения, возникшая в результате длительного эволюционного процесса.

Когда растения в процессе фотосинтеза производят углеводы в своих хлоропластах, часть соединений они используют для построения своих клеток и структуры, часть перерабатывают в жизненную энергию. Но значительное количество продуктов фотосинтеза, таких как жидкие углеродные соединения, они выделяют в почву (Jones SOS). Цифры приводятся разные, но от 20 до

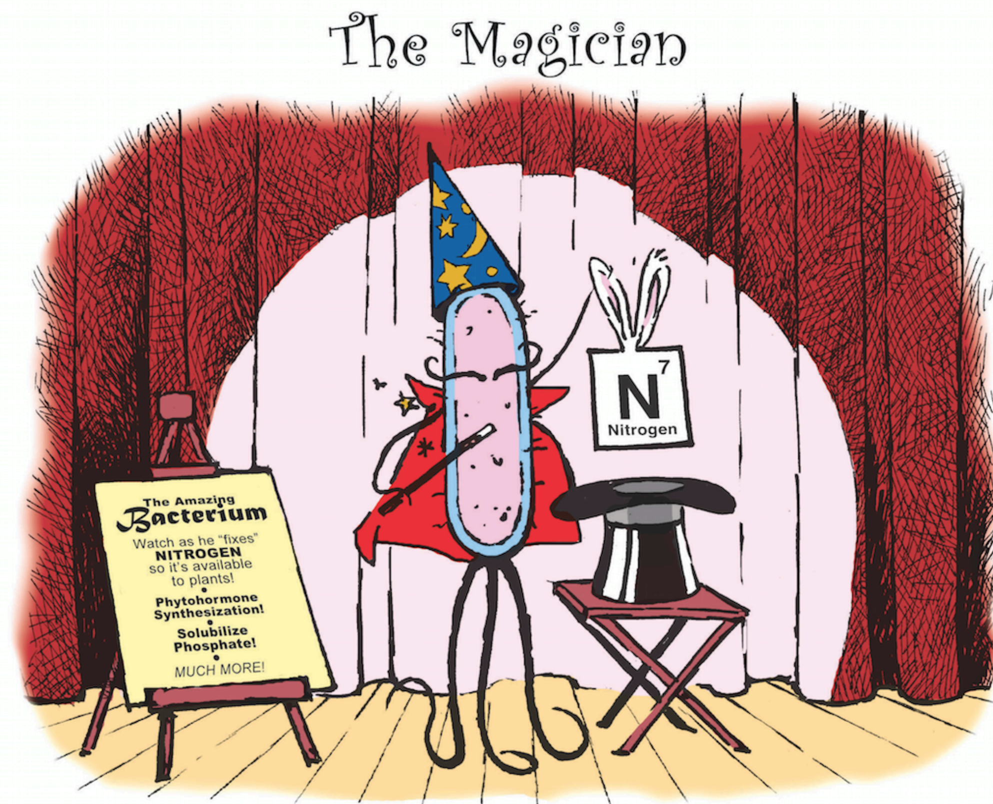
40 % углерода, выработанного растением в процессе фотосинтеза, поступает в ризосферу (участок почвы, непосредственно прилегающий к корням).(Walker).

Зачем же растению сливать сахарный сироп в грязь?

Как приманку.

Тут же появятся голодные бактерии, грибы и другие почвенные организмы, которые рады полакомиться вкусными углеродосодержащими корневыми выделениями. Но скоро они захотят больше и лучший способ их удержать - помочь растению производить больше питательных элементов. Если растение сильное и здоровое, фотосинтез и выделение углерода идет активнее.. Таким образом, микробы различными способами помогают росту и жизнедеятельности растения, а также более активному производству углерода в виде жидких соединений.

По мере изучения биохимических процессов в почве мы обнаружили, что через корневые выделения растения могут контролировать большую часть окружающей их среды - регулировать состав почвенной микробиоты, отпугивать травоядных животных, «заказывать» поставки питательных веществ издалека, менять химические и физические характеристики участка почвы, на котором они растут, тормозить рост растений-конкурентов.



Симбиоз микроорганизмов

Нужно отметить, что большая часть изложенного ниже все еще находится в стадии изучения.

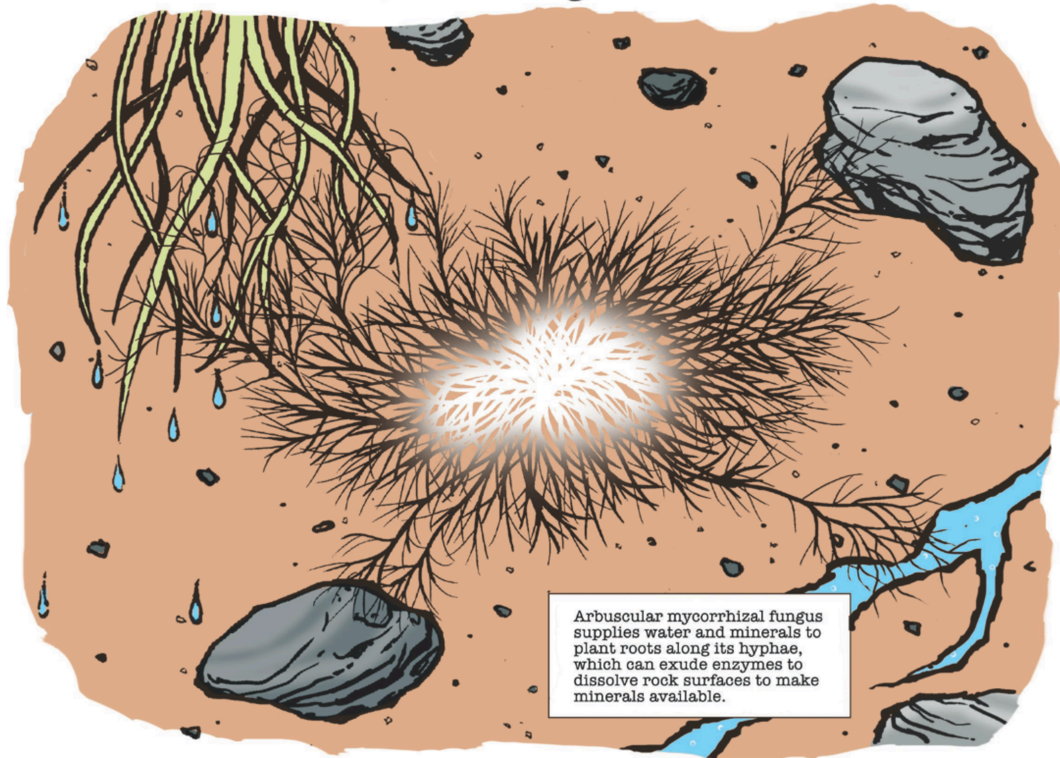
Почвы -это непаханое поле для исследований, во многом еще только предстоит разобраться. Сообщество микроорганизмов чрезвычайно разнообразно - от 90 до 99% видов невозможно культивировать в лабораториях на базе современных технологий.(Jastrow).

Сообщество почвенных микроорганизмов на 90% составляют бактерии и грибы. Точное соотношение между двумя царствами организмов варьируется. В нетронутых почвах, таких как луговые и лесные, доминируют грибы, чьи тончайшие нитевидные гифы находятся там в безопасности. При этом культивация или использование синтетических азотных удобрений сокращает грибную популяцию.

Процветание микроорганизмов зависит, прежде всего, от того, насколько они защищены непосредственно окружающей их физической средой. Защита может быть обеспечена глинами, которые, как считают ученые, могут поддерживать оптимальный pH, абсорбировать вредные метаболиты и/или препятствовать пересыханию почв. Небольшие поры в субстратах, предположительно, служат для укрытия мелких организмов, таких как простейшие, от более крупных (Six). Сообщается, что защищенные организмы погибают в пределах менее 1% за день, в то время как гибель незащищенных организмов достигает 70% ежедневно.

Бактерии

Бактерии - великолепные химики. Отдельная группа, называемая «ростостимулирующие ризобактерии» (PGPR), улучшает жизнь растений за счёт ряда биохимических реакций. Одни «улавливают» атмосферный азот, преобразуя его в форму, доступную для растений. Другие синтезируют фитогормоны, которые стимулируют различные стадии развития растения. Третьи могут переводить в растворимую форму фосфаты - слаборастворимые, но очень важные питательные соединения,- и делают их доступными для развития растений, или синтезируют натуральные фунгициды, чтобы помочь растениям противостоять грибковым заболеваниям (Velivelli). Один из видов таких ризобактерий был выделяется из самых обычных растений, например, из пшеницы, белого клевера и чеснока. Этот вид бактерий производит различные антибиотики - вещества, которые борются с патогенами и помогают растениям противостоять болезням (Timmusk).



Грибы

Другой пример симбиоза микроорганизмов и растений - древовидная микориза. В этом симбиозе грибы осваивают две разные среды: корни растения-хозяина и окружающую почву, соединяя обе своими длинными гифами. Через эти гифы растение-хозяин эффективнее всасывает влагу и минеральные питательные вещества. Эта взаимосвязь была зарегистрирована в отношении многих минералов, включая фосфор, азот, цинк и медь (Jansa). По некоторым оценкам, более 90% наземных растений извлекают пользу из дружбы с древовидными микоризными грибами (Cairney).

Некоторые ученые считают, что 85-90% необходимых растениям питательных веществ, они получают в процессе углеродного обмена, где корневые выделения обеспечивают питание микроорганизмам в обмен на минералы или микроэлементы, которые иначе растению недоступны (Jones SOS).
Подобные отношения выгодны для обеих сторон без каких-либо затрат. Единственную дополнительную энергию дает солнечный свет, что позволяет теперь более сильным, благодаря симбиозу, растениям производить больше соединений для поддержания жизнедеятельности микроорганизмов.

Почвенные агрегаты

Важным действующим лицом этой истории являются структурные элементы почвы, называемые «агрегатами». Если сжать в ладони горсть здоровой почвы, а затем отпустить, она должна выглядеть как кучка гороха. Это и есть агрегаты. Если почва остается в виде твердых кусков, значит она плохо

агрегирована. Агрегаты достаточно устойчивы, чтобы противостоять ветряной и водной эрозии, но в то же время достаточно пористы, чтобы вода, воздух и корни могли проходить сквозь них.

Агрегаты являются фундаментальными функциональными единицами почвы и играют роль, аналогичную роли корневых клубеньков бобовых, создавая защищенное пространство (Jones SOS). Гифы микоризных грибов помогают формировать агрегаты, создавая «сумку из липких нитей», которая сворачивает и опутывает частички почвы (Jastrow). Жидкие углеродосодержащие соединения, выделяемые корнями растений и грибов, обеспечивают производство клейкой субстанции и смол для формирования стенок агрегата (Jones SOS).

Внутри этих стенок присутствует высокая биологическая активность, опять же поддерживаемая за счет углеродных выделений. Большая часть агрегатов связана с корнями растений, часто с более тонкими боковыми корнями, или с сетью грибных микориз, слишком маленьких, чтобы их можно было увидеть. Содержание влаги внутри агрегата выше, чем снаружи, а давление кислорода внутри ниже. Эти важные особенности позволяют удерживать азот и обеспечивают условия для других биохимических реакций.(Jones SOS).

Одной из важнейших склеивающих субстанций, которая удерживает частицы почвы в агрегате, является гликопротеин, называемый "гломалин". Стабильность гломалина и агрегатов почвы,по-видимому, прочно связаны (Nichols). Открытый только в 1996, гломалин, как считают ученые, составляет 27 % углерода в почве и в зависимости от условий сохраняется на протяжении более 40 лет. Гломалин, по-видимому, синтезируется древовидными микоризными грибами с использованием жидких углеродных соединений, выделяемых растениями. Он позволяет гифам грибов прикрепляться к корням и почвенным частицам и преодолевать воздушные лакуны (Comis).

Теперь, когда мы узнали больше о почве и о том, как растения перекачивают в нее углерод, чтобы поддерживать симбиотические отношения с микробами, мы можем вновь поставить исходный вопрос:

Как быстро вернуть углерод в почву, чтобы нивелировать риски погодных катаклизмов?

Выше уже говорилось, что одна миллионная доля диоксида углерода в атмосфере содержит 2.125 Гт чистого углерода. Если это так, и мы находимся на отметке в 400 мд, планируя достичь 350 мд, то нам нужно вернуть 50 мд или 106,25 Гт углерода в почву.

Мы знаем, что весь этот объем углерода усвоится почвой, потому что именно оттуда он и поступил в атмосферу. Почва потеряла 136 Гт углерода в процессе освоения почв и развития земледелия с начала индустриальной эпохи.

Но насколько быстро мы можем вернуть весь этот углерод обратно в почву? За последние 20 лет, с тех пор как люди задумались о возвращении углерода в почву, было проведено большое число исследований с целью измерения скорости, с которой фотосинтез сельскохозяйственных культур может производить почвенный углерод. Мы изучили ряд исследований, проведенных за последнее десятилетие, которые охватывают различные типы почв и системы земледелия на пяти континентах. Эти исследования используют различные методологии и, конечно, дают весьма отличающиеся результаты. Но читая их, некоторые вещи становятся очевидны:

- Возделывание многолетних культур может восстанавливать больше углерода, чем другие

методы земледелия. Результаты всех исследований пастбищных угодий говорят об исключительном количестве восстановленного углерода в диапазоне от 1,9 до 3,2 тонн углерода на акр в год, в среднем - 2,6 тонны (Machmuller, Rodale, IFOAM - Международная Федерация Органических Сельскохозяйственных Движений). Есть ряд исследований, согласно которым при возделывании многолетних культур вырабатывается большое количество почвенного углерода, и есть основания полагать, что многолетние древесные культуры тоже к этому способны. Одно из исследований показало, что истощенные почвы шахтных отвалов, на которых возделывались посадки белой акации (древесное растение семейства бобовых) с коротким циклом ротации, вырабатывали 2,8 тонн углерода на акр в год (Quinkenstein). Для того чтобы полностью оценить вклад многолетних древесных или травянистых культур в восстановление углерода в почве потребуются дополнительные исследования.

- Использование химических удобрений, особенно фосфорных и азотных, серьезно сокращает, а часто и прекращает любую выработку углерода в почве. Напротив, надлежащее использование навоза и компоста, по-видимому, не препятствует увеличению углерода в почве (Jones SOS, Rodale).

- Исследования пропашных культур, даже выращенных без синтетических химикатов, показали более низкую выработку углерода по сравнению с пастбищными исследованиями, от 0,23 до 1,66 тонн на акр, и в среднем 0,55 тонн (Khorramdel, IFOAM)

- Качество ведения сельского хозяйства в исследованиях было различным, особенно в отношении пропашных культур. Фактически во всех исследованиях высокие урожаи пропашных культур наблюдались при использовании навоза и компоста вместо химических удобрений. Но степень воздействия других важных факторов аккумуляции углерода в почве - поддержание постоянного растительного покрова, использование широкого диапазона покровных культур, минимизация обработки земли - точно не ясна. Однако стоит отметить, что в опытах с наиболее высоким показателем прироста углерода (1,66 тонн на акр кукурузы) использовались органические методы без обработки земли (Khorramdel).

Давайте на основании этих усредненных опытных данных сделаем несложный расчет, который поможет нам оценить способность сельского хозяйства вернуть 106,25 Гт углерода в почву.

По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (FAO), на Земле 8,3 миллиарда акров (3,32 млрд га) лугов и 3,8 миллиарда акров (1,52 млрд га) пахотных земель. Если бы каждый ежегодно использовал на этих площадях методы, способствующие накоплению углерода в почве, луга могли бы восстановить 21,6 Гт, вырабатывая в среднем 2,6 тонны на акр (6,5 тонн на га), , а пахотные земли - 2,1 Гт, вырабатывая 0,55 тонн на акр (1,38 т/га),. Что дает нам в сумме 23,7 Гт в год. Поскольку нам нужно восстановить 106,25 Гт, то это возможно менее чем за пять лет!

Стабильный углерод

Само собой, если мы хотим удержать большой объем углерода в почве, нужно сделать его труднодоступным для микроорганизмов. Иначе в конце концов весь наш углерод будет переработан и выделен в форме диоксида углерода обратно в атмосферу. Многие исследования анализировали различные методы обработки почв органическими веществами, которые способствовали бы ее

устойчивости к воздействию биохимических факторов. Одно 10-летнее исследование сравнивало состояние двух сходных участков, на одном из которых в почву вносились органические остатки, а на другом - изымались с ее поверхности. Другое длилось 31 год и сравнивало разные варианты севооборотов и применения удобрений на разных участках, получая разброс в накоплении почвенного углерода до 50%. Третье сравнивало участок, где остатки сельхозкультур много лет сжигались, с другим, где остатки зарывали в землю. К концу каждого из этих исследований, ученые измеряли содержание органического вещества в почве и не находили значимых различий между участками, кроме разницы в уходе за ними (Kirkby).

Если микроорганизмы будут просто активно размножаться и потреблять весь имеющийся углерод, нам никогда не достичь его высокого уровня содержания в почве. И все же, из истории известно, что содержание органического вещества в почве в диапазоне от 6 до 10% было весьма распространено, а в некоторых типах почв достигало 20% (LaSalle). Что же не давало почвенным организмам разрушать органическое вещество почвы раньше?

Это одна форма почвенного углерода, которая годами остается стабильной, - гумус. Он состоит из сложных молекул, содержащих углерод, но почвенной биоте не так-то просто его заполучить. Ученые пока не пришли к единому мнению по поводу того, как гумус формируется или как он противостоит разложению. Одни считают, что гумус является крайне трудно разлагаемым соединением углерода, которое образуется в процессе разложения микроорганизмами корней и корневых продуктов (Ontl).

Другие полагают, что механизмы, обеспечивающие физическую устойчивость почвенного углерода, связаны или с его способностью противостоять агрессии микробных ферментов, благодаря адсорбции на почвенных минералах, или с его защитой почвенными агрегатами. Первые предполагают, что химическая связь с частицами глины или почвенными коллоидами достаточно прочна для противостояния атаке разрушающих ферментов. Вторые считают, что от атаки ферментов молекулы гумуса спасает низкое содержание кислорода или других агрессивных веществ внутри почвенного агрегата. Есть также теория, которая связывает устойчивость почвенного углерода к микробному разложению с глубиной его расположения в почве (Dungait).

Ряд ученых, однако, склоняется к тому, что стабильный углерод образуется не в процессе разложения остаточного органического вещества, а непосредственно из жидких углеродных соединений. Согласно этой точке зрения гумус является продуктом синтеза почвенных организмов, а не разложения органической материи(Meléndrez , Jones letter).

Исследования, подкрепляющие эту точку зрения, показывают, что гумус является органо-минеральным комплексом химических соединений, который состоит на 60% из углерода, на 6-8% из азота и химически связанных почвенных минералов, таких как фосфор, сера, железо и алюминий. Существуют также некоторые доказательства того, что состав гумуса основан на особых пропорциях его основных компонентов, не только между углеродом и азотом, но и между углеродом и серой (Kirkby). Один из исследователей утверждает, что гумус может образовываться только в специализированных почвенных микро-отдельностях, таких как агрегаты, где происходит активная азотфиксация, а фосфор и сера присутствуют в виде растворов (Jones letter).

Как нам восстановить и стабилизировать почвенный углерод?

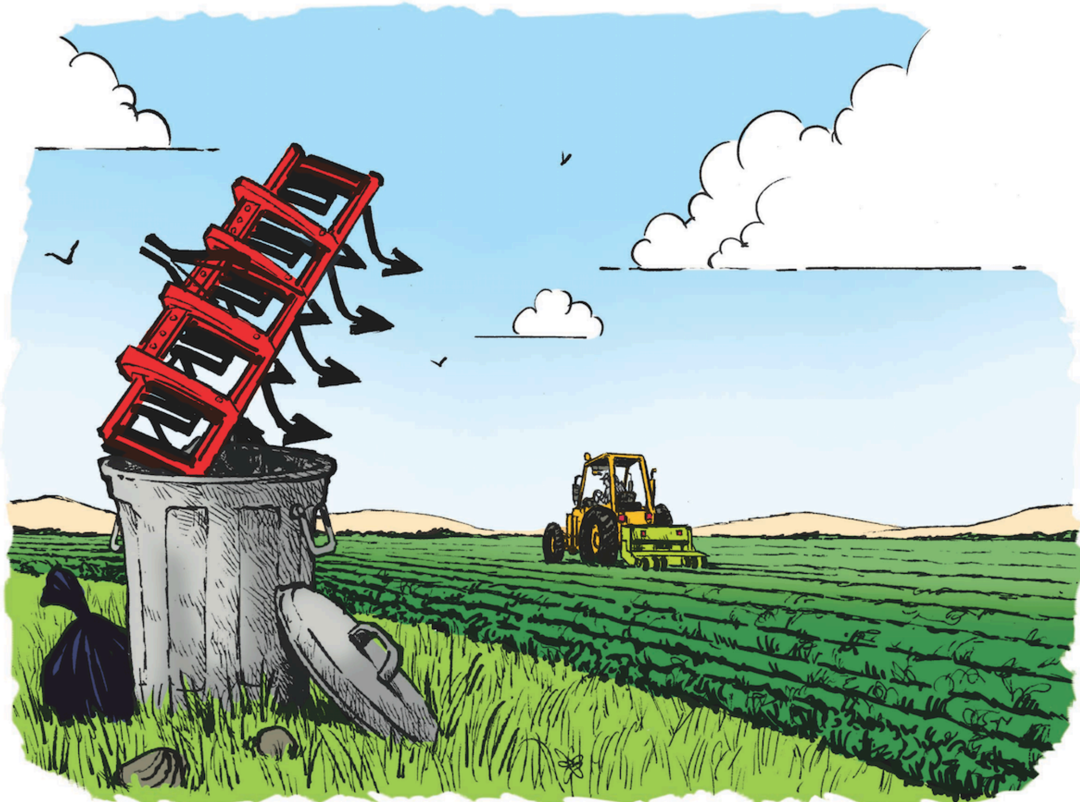
Почвоведы узнают все больше о компонентах почвы и микробиологических процессах, формирующих гумус, а значит, и мы сможем лучше понять, как помочь его образованию. Существует доказательство того, что формирование органического вещества почвы - это не просто внесение в нее органических остатков. Да, это создает условия для процветания микробных сообществ и может оказать благоприятное воздействие на урожай. Но для формирования долгосрочного углерода требуется все же больше усилий.

Нам нужно знать, какие методы следует использовать для накопления и сохранения углерода в нашей почве.

Не допускать оголения поверхности почвы

Возможно, самым важным и единственно неоспоримым выводом является то, что голая почва способствует окислению углерода, в то время как растения этому препятствуют. Зеленые растения создают барьер между воздухом и почвой, замедляя процесс высвобождения углерода микробами. Ветряная и водная эрозия также являются главными врагами почвенного углерода, и выращивание растений является лучшей защитой от них. Наконец, растения не только защищают почвенный углерод, но и пополняют его запас, благодаря процессу фотосинтеза. Проще говоря, каждый квадратный метр почвы, оставшийся пустым - будь то ряды между пропашными культурами, или поле, с которого собрали урожай и оставили под паром - снижает количество углерода в почве.

Практика зимних посадок для покрытия почвы и подсева бобовых и покровных культур важны для защиты почвы от эрозии после сбора урожая, для увеличения количества почвенного углерода, подкормки почвенных организмов и улучшения структуры почвы (Azeez).



Минимизация обработки земли

Фермерам, занимающимся органическим земледелием, сложнее всего смириться с методом восстановления почвенного углерода путем сокращения обработки земли. Так как органические производители не используют гербициды, обработка почвы является их главным оружием против сорняков. А ведь обработка земли дает ряд негативных эффектов: во-первых, она нарушает структуру почвы, открывая доступ кислороду, окисляющему углерод в почве. Во-вторых, обработка земли разрушает гифы микоризных грибов - микроорганизмов, ответственных за большую часть симбиоза, который так важен для жизненной силы растений и увеличивает выработку растворенного углерода. Их гифы - это сеть тончайших нитей, которая пронизывает почву и несет воду и питательные вещества корням растений. Исследования отмечают рост грибной биомассы во всех точках, где обработка почвы сокращена (Six). В-третьих, сложнейшие почвенные агрегаты, которые формируются выделениями микроорганизмов, и под защитой которых происходят важнейшие химические трансформации, такие как азотфиксация и стабилизация углерода, разрушаются в процессе обработки. В-четвертых, обработка земли разрушает систему почвенных пор, которая удерживает воду и воздух, жизненно необходимые микроорганизмам. Наконец, собственно обработка земли сама по себе часто требует оборудования, работающего на ископаемом топливе, и оно выделяет парниковые газы при работе.

Согласно исследованиям, органические сельскохозяйственные модели с самыми высокими показателями аккумуляции углерода обходятся без обработки земли и вносят большое количество органических удобрений - таких как коровий навоз - в почву (Khorramdel). Противники обработки земли заявляют, что даже одна обработка раз в несколько лет может вызвать потерю всего углерода почвы, накопленного за это время (Lal 2007) .

Некоторые исследования показывают, что почвенный углерод, накопленный за счет отказа от обработки, не распространяется вглубь, а аккумулируется в поверхностном слое. И это, по их мнению, является проблемой, потому что наилучшие условия для формирования гумуса и долгосрочной стабилизации углерода - в глубинных слоях почвы, ближе к глине и минералам, которые препятствуют окислению углерода. Они также утверждают, что органическое вещество, полученное в результате отказа от обработки, аккумулируется только на легких фракциях почвы у поверхности и легко окисляется при любом вмешательстве извне (Azeez).

Некоторые исследования, которые указывают на незначительную толщину органического слоя почвы при отказе от ее обработки, сообщают, тем не менее, о медленном процессе поступления органического вещества в нижележащие слои через 10-15 лет использования такой системы. Это происходит, вероятно, из-за снижения скорости разложения органического вещества и долговременного перемешивания почвы более крупными почвенными организмами (Powlson).

В настоящее время разрабатываются системы и устройства для органических сельхозпроизводителей, которые позволят сократить обработку земли. Уже доступны сеялки, которые делают в почве лунку ровно такой глубины, чтоб можно было посадить зерно или саженец, и сразу же засыпают лунку землей. Разработаны катковые молотилки, которые обмолачивают высокостебельные культуры, не повреждая почвы. Следующий посев производится прямо в стерню. Вскоре, несомненно, появится много других идей, призванных помочь органическому фермерству бороться с сорняками, не нанося вреда почве. Очевидно, что на этом фронте требуется более серьезный прогресс.

Другой способ борьбы с сорняками - использование мульчи, лишая таким образом сорняков света. Простейший вариант мульчи - листы пластика. Их производство, тем не менее, требует использования ископаемого топлива, а их удаление может быть сложным и затратным по времени. Мульчирование органическими материалами, такими как сено и измельченные остатки культур, повышает количество разложившейся органической материи в почве и способствует формированию углерода, но в биологически активных почвах требуется постоянное довнесение такого материала, что может быть весьма затратным во временном и денежном отношении. Основным недостатком мульчирования, тем не менее, является то, что мульча не поглощает углерод из атмосферы и не перекачивает его в почву путем фотосинтеза, как это делают живые растения.

Покровные культуры

Покровные культуры крайне важны в любой стратегии органического земледелия для снижения или отказа от обработки земли, борьбы с сорняками и аккумуляции почвенного углерода. Идеальные кандидаты в покровные культуры – те растения, которые могут быть уничтожены (морозом, выкосом, раздавливанием) до цветения так, чтобы перестать давать семена и стать сорняками самим по себе. Во время вегетации их фотосинтез - важный источник почвенного углерода, а после отмирания их биомасса становится доступной для формирования органического вещества. В составе покровных культур важны бобовые, а также растения с глубоко проникающей корневой системой, такие как плевел или рожь, которые извлекают питательные вещества из глубинных слоев почвы, а в обмен поставляют туда азот и углерод.

Помимо увеличения концентрации почвенного углерода, покровные культуры снижают выщелачивание азота почвы и противостоят водной и ветряной эрозии. Они улучшают структуру почвы, увеличивают инфильтрацию влаги и сокращают ее испарение. Они также дают больше лигнина, чем большинство возделываемых культур, поддерживая таким образом рост микоризных грибов и их продуктов, например, гломалина, который способствует связыванию частиц почвы (Rodale, Azeez).

Разнообразие и севооборот

Один из ключевых методов поддержания жизнедеятельности микроорганизмов в почве - обеспечение разнообразия растительного покрова. Закон природы состоит в том, что чем богаче биоразнообразие экосистемы, тем она более здорова и устойчива. Тот же принцип действует в отношении аккумуляции углерода в почве (Lal 2004). Под землей биологическое разнообразие позволяет каждому микроорганизму занимать собственную нишу в пищевой цепи - грибам, водорослям, бактериям, земляным червям, термитам, муравьям, нематодам, навозным жукам и т.д. На поверхности же монокультуры привлекают вредителей и болезни, тогда как видовое разнообразие культур, напротив, сдерживает их развитие и распространение. Это относится как к сельскохозяйственным, так и к покровным культурам, которые должны быть представлены растениями разных групп - широколиственные и травянистые, бобовые и небобовые, теплолюбивые и морозоустойчивые, влаголюбивые и засухоустойчивые. Вне зависимости от условий часть их будет способна расти и осуществлять фотосинтез. «Коктейль покровных культур» - это смесь семян различных покровных растений, которую уже сейчас можно приобрести, чтобы обеспечить биоразнообразие посевов.

Севообороты также способствуют биоразнообразию. Смена сельхозкультур вкупе с постоянной высадкой покровных культур устраняет необходимость оставлять почву под паром и повышает

активность почвенных ферментов. Биомасса микроорганизмов больше, когда в оборот включены бобовые (Six).

Выпас жвачных в органическом сельском хозяйстве также является распространенным методом повышения содержания органического вещества почвы. Сам выпас способствует росту, а затем отмиранию корней травы - это обеспечивает углеродное питание голодным почвенным микробам. Пастбищное земледелие и возделывание многолетних культур при правильном подходе могут дать быстрое увеличение содержания органического вещества в почве. Животный навоз - один из самых ценных продуктов, производимых небольшими смешанными фермами, богатый как углеродом, так и живыми микробами, которые обеспечивают биоразнообразие в почве.



Нет химикатам!

Использование синтетических сельскохозяйственных химикатов губительно для почвенного углерода. Токсины, такие как пестициды, смертельны для почвенных организмов, которые играют решающую роль в повышении жизнеспособности растения и фотосинтеза. Удобрения также разрушают органическое вещество почвы. В опытах по утилизации компоста, которые проводились в Институте Родаля, внесение компостированного навоза вместе с использованием системы севооборотов за десять лет привело к повышению аккумуляции углерода до 1,0 тонны на акр за год. Использование синтетических удобрений без смены посевных культур, напротив, сокращает темпы аккумуляции углерода на 0,15 тонн на акр в год (LaSalle).

Опытные участки Морроу Иллинойского университета стали базой для проведения одного из самых продолжительных сельскохозяйственных экспериментов в истории. Исследователи

проанализировали данные, собранные за 50 лет на участках, где в почву было добавлено в общей сложности от 90 до 124 тонн углеродосодержащих остатков на акр, но где также использовались синтетические азотные удобрения. За время испытаний эти участки потеряли почти 5 тонн органического вещества на акр (Khan).

Предполагаемой причиной негативного воздействия синтетических удобрений на почвенный углерод является их влияние на размеры корневой системы растений и глубины ее проникновения в почву. Корни концентрируются у поверхности, а не стремятся в глубинные слои в поисках питательных веществ, синтезированных бобовыми и поступающих из почвенных минералов или других естественных источников (Azeez). Другой причиной может быть активное поглощение растением ионов аммония, при этом ионы водорода остаются в почве и приводят к ее закислению (Hepperly). Третья причина - доступность свободного азота ведет к тому, что растения выделяют меньше растворенного углерода для получения азота от микроорганизмов. Если вы использовали синтетические азотные удобрения и теперь хотите прекратить, будет разумным постепенно сокращать их количество в течение трех или четырех лет, так как для восстановления популяции азотфиксирующих бактерий в почве потребуется время. Резкое прекращение использования удобрений может привести к снижению урожайности в первые годы (Jones SOS).

Пастбища

Мы уже отметили ранее, что грамотное стравливание травостоя на пастбищах является высокоэффективным методом сельского хозяйства для восстановления почвенного углерода. Недавние исследования участка, на котором выращивание пропашных заменили интенсивным выпасом, показали заметное накопление углерода в 3,24 тонны на акр за год. Это сравнимо с показателями глубоко укореняющихся африканских трав, посаженных в саваннах Южной Америки, которые достигали показателей в 2,87 тонн углерода на акр в год (Machmuller).
Частично эффективность пастбищного травяного покрова для аккумуляции углерода, возможно, связана с фактом, что некоторые травы используют С4-фотосинтез, который работает иначе, чем более привычный С3-фотосинтез. С4-фотосинтез возник в процессе эволюции как приспособление растения к нехватке влаги, избытку солнечного света и высоким температурам. Этот тип фотосинтеза обеспечивает от 25% до 30% процентов всего углерода, удерживаемого в почве, хотя используется только 3% цветковых растений (Muller).

Некоторые обеспокоены увеличением поголовья жвачного скота, так как для процесса пищеварения этим животным необходимы бактерии, живущие у них в рубце и выделяющие метан - парниковый газ, который животное потом выпускает в атмосферу. С экологической точки зрения это не проблема, так как метанотрофные бактерии, которые встречаются в самых разнообразных местах обитания и питаются исключительно метаном, быстро его переработают. Так, после разлива нефти платформой Deepwater Horizon в Мексиканском заливе, около 220,000 тонн метана поднялось на поверхность, но весь этот объем был быстро поглощен резко возросшей популяцией метанотрофных бактерий. Только если выпас жвачных происходит далеко от биологически активной почвы или воды, например на откормочных площадках или на почвах, в которые вносились синтетические химикаты в большом количестве, выделяемый ими метан может стать проблемой.(Jones SOS).

Леса

Превращение истощенных земель в лесные угодья также предлагается как способ увеличения

уровня почвенного углерода. Как и в случае с остальными растениями, скорость восстановления углерода в лесу зависит от климатических условий, типа почвы, видового состава растительности и распределения питательных веществ. Исследования показывают, что прирост углерода в лесах весьма скромный, в некоторых случаях даже отрицательный (Lal 2004). Но есть несколько, которые, однако, предполагают, что при правильном уходе древесная растительность также может вырабатывать значительное количество почвенного углерода (Quinkenstein). Посадка лесов в целом положительно влияет на смягчение климата и восстановление круговорота воды в биогеоценозе.

Биоуголь

Потенциал использования обугленных органических остатков для повышения плодородности почвы за счет восстановления почвенного углерода в последнее время вызывает большой интерес. Приводя в пример почвы Амазонии - терра прета, - антропогенные черные почвы, обогащенные углем более 800 лет назад, - сторонники этой идеи указывают на высокое плодородие этих почв даже в наши дни. Другие почвы, богатые древесным углем, - это Моллисолс, вторичные луговые почвы, распростаненные в Северной Америке, на Украине, в России, Аргентине и Уругвае, которые производят значительную часть мирового урожая зерновых. Уголь в этих почвах появился в результате давно произошедших степных пожаров. Химический состав этих угольных остатков был исследован совсем недавно. Их устойчивость и влияние на плодородие почвы могут быть связаны с защищенным пространством, которое они предоставляют микробам в своих порах, а также с молекулярным строением угля, которое обеспечивает высокий катионный обмен (возможность удерживать ионы минералов, необходимые для питания растений) (Mao).

Хотя биоуголь широко не изучался, ученые предполагают, что биомасса, преобразованная в биоуголь, может удерживать около 50% своего исходного углерода в почве в течение длительного периода времени, формируя более стабильный и долгоживущий почвенный углерод, чем если бы мы вносили в почву углерод в виде необугленных органических остатков (Dungait).

Конечно, любое преобразование углерода в биоуголь требует предварительной оценки источника углерода, его применимости в землепользовании, энергетических затрат на его обработку и внесение в почву, которая должна охватывать весь биохимический цикл. Однако, есть определенные указания на то, что биоуголь - это хороший способ придать дополнительную устойчивость лабильному (легкоразрушаемому) органическому веществу почвы (Powlson).

Польза от восстановления углерода в почве

Преимущества от накопления органического вещества в почве вашего участка вовсе не ограничиваются удалением диоксида углерода из атмосферы.

Вода

Увеличение концентрации почвенного углерода способствует формированию почвенных агрегатов, которые, в свою очередь, работают как губка, позволяя почве удерживать воду, обеспечивая резерв влаги для растений в период, когда количество осадков мало, и как резервуар для отвода избыточной влаги в дождливые периоды. Эта способность удерживать воду также снижает риск эрозии и может повысить качество и урожайность сельхозкультур. Некоторые фермеры опасаются, что растения-спутники или покровные культуры будут поглощать всю доступную воду или питательные вещества. На самом же деле, помогая почвенным микробам разнообразием растений,

мы стимулируем процесс всасывания питательных веществ и удержания влаги у сельхозкультур (Jones SOS).

Интересно, что с 1930-ых годов разброс между средними минимумом и максимумом уровня воды в реке Миссисипи сильно вырос - уровень воды во время паводков все выше, а при засухе - все ниже. Это происходит из-за того, что вода не инфильтруется в почву должным образом. При хорошей инфильтрации часть воды поддерживает работу растений, а часть просачивается в грунтовые воды, которые питают ручьи и реки, и все это обеспечивает долговечное базовое питание речных систем. Но если почвенный покров скуден, то формирование агрегатов почвы снижается, и инфильтрация воды в почву ухудшается. Таким образом, во время паводка вода стекает по поверхности, вызывая эрозию почвы, а при засухе в почве не остается запасов воды ни для растений, ни для питания грунтовых вод (Jones SOS).

Доминирование грибов

Ученые считают, что большее число грибов по отношению к бактериям в почве очень важно для продуктивности растений. Об их соотношении можно судить по запаху почвы - он должен быть грибным, а не кислым. Именно грибы отыскивают воду и по мере необходимости доставляют ее и растворенные в ней питательные вещества к корням растений. К сожалению, в большей части сельскохозяйственных почв доминируют бактерии, а не грибы. Но если фермер избегает оголения почвы, сокращает ее обработку до минимума, поддерживает видовое разнообразие покровных культур, практикует интенсивный, но кратковременный выпас с достаточными перерывами, - в почве начинают доминировать грибы.

Здоровые урожаи

Растения, как и животные, в процессе эволюции приобрели сложные механизмы защиты от врагов. Эти механизмы разнообразны и весьма хитроумны. Одни скрываются от врагов, мимикрируя под другие растения, или камуфлируются, чтобы их не заметили. Другие противостоят атакам своих врагов, используя "броню", например, толстые стенки семян, восковые кутикулы или твердую кору. Третьи спасаются от поедания шипами, колючками или клейкими выделениями. Многие синтезируют вторичные метаболиты, защищаясь от биохимических методов (яды, репелленты, раздражители или даже летучие органические соединения, которые привлекают естественных врагов травоядных животных) (Wink). Растения также вступают в симбиоз с бактериями, которые способны подавить местный патоген и таким образом защитить растение от атаки.

Такие способности, как и в случае с иммунной системой животных, работают лучше всего, когда растение здорово. Здоровье растения оптимально, когда его потребности в солнечном свете, питательных веществах, воде, кислороде и диоксиде углерода полностью удовлетворены. И, конечно, этого легче всего достичь в здоровой почве с высоким содержанием углерода и богатой популяцией разнообразных микроорганизмов. В таких условиях вырастают сельхозкультуры с высокой пищевой ценностью, устойчивые к болезням и вредителям, с более высоким содержанием антиоксидантов и более длительным сроком хранения (Gosling, Wink, Reganold).

Растения, не страдающие от болезней и вредителей, получающие достаточно питательных веществ, будут хорошо расти и давать обильные урожаи. Также здоровые растения синтезируют больше летучих соединений и сложных метаболитов, которые улучшают вкус и аромат пищевых культур. Так что восстановление углерода в почве - способ угодить всем: фермерам - более высокими

урожаями, садоводам - лучшими вкусовыми качествами плодоовощной продукции, а потребителям - более здоровыми продуктами питания.

Заключение

Использование достижений биологии для восстановления органического вещества в почве и его стабилизации не только выгодно тем, кто занимается сельским хозяйством, но и жизненно важно для нашего общества. Мы изъяли слишком много углерода из почвы, сожгли его и выпустили в атмосферу в виде диоксида углерода. Даже если бы мы завтра прекратили пользоваться ископаемым топливом, парниковые газы, которые уже присутствуют в атмосфере, продолжили бы повышать среднюю мировую температуру и высвободили бы еще больше вредных газов в будущем.

Если мы хотим выжить, нет другого пути, кроме восстановления углерода в почве. И это можно сделать с помощью биологии, используя методы, работавшие миллионы лет - разве это не замечательно? Фермеры, садоводы, домовладельцы, озеленители - все, кто владеет землей или работает на ней - могут следовать этим простым принципам и не только вернуть запасы углерода в почву, но и восстановить замечательную систему равновесия, которую подарила нам природа, обновить нашу атмосферу, создавать здоровую пищу, дарить красоту и здоровье всему живому на Земле.

How organic farming can save the world!

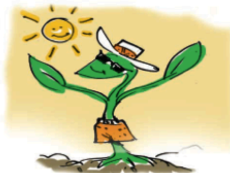

Our poor Earth.

Day after day, carbon dioxide gas is pumped into the air, warming up our planet and threatening our environment.




Fortunately for us, there's a solution -- and it's right underneath our feet


Organic farming is here to save us! TA-DAH!


Good soil management helps promote the growth of healthy plants that absorb sunlight.



Plants then use their own chlorophyll along with carbon dioxide and water to produce -- carbohydrates!



Some of the sugars in these 'liquid' carbohydrates are 'leaked' or exuded down through the roots and, like magic, attract hungry microbes in the ground -- like bacteria and fungi.


Together, green plants and organisms in the ground protect and promote each other's health.



Best of all, this process locks the carbon into organic matter, can create humus in the soil (learn how in this paper) and...




...that keeps our planet healthy!



nofa NORTHEAST ORGANIC FARMING ASSOCIATION